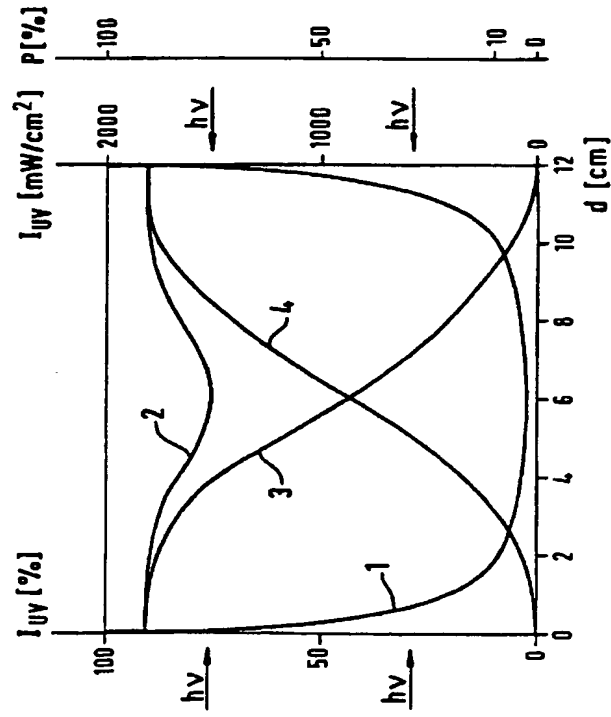


<p>96-040968/05 A35 F04 L02 (A21 A93) GRUZ 94.06.17  GRUENZWEIG &amp; HARTMANN AG *DE 4421254-A1  94.06.17 94DE-4421254 (95.12.21) C08F 2/48, B29C 35/08, C08J 3/24,  C08L 63/10, D04H 1/48, F16L 59/04, D04H 1/42, C08J 3/28, C08F 2/44  Polymerisation of substances in fibrous material - involves use of  UV intensity which ensures complete polymerisation through  thickness in prescribed time in which no damage is caused to  organic material at surfaces  C96-013854  Adnl. Data: MERTZ F, CHARTIER P, DECKER C</p>	<p>A(11-C2B, 12-R6) F(1-D9, 4-E6) L(2-B8)</p> <p><u>USE</u>  The process is used for polymerising substances within a fibrous  mat, esp. a binder in a mineral wool insulation.</p> <p><u>ADVANTAGE</u>  Polymerisation can be effected to a considerable depth of fibrous  material without influencing material at the surface.</p>
<p>In a process for polymerising a binder within a fibrous material, esp. a  binder of a mineral wool insulation, the fibrous material, impregnated  with a UV curable material, pref. a prepolymer is subjected to UV  radiation. The UV intensity (Iuv) is such that complete polymerisation  occurs within a given time in which no degradation of the organic  binder occurs at the material surface and is related to the speed of the  fibrous material through the prodn. line. Exposure time is limited to  the specified time for complete polymerisation.</p> <p>Also claimed is the appts. used in the process including a UV source  and a system for aligning the UV rays into a narrow beam.</p>	<p><u>PREFERRED PROCESS</u>  U.V intensity (Iuv) on the surface of the mineral wool is above  500 mW/sq, pref. 1W/sq cm, more pref. 2W/sq cm. UV wavelength is  more than 250nm, pref. above 310 nm. Exposure time is less than 10  s, pref. below 1 s, more pref. below 0.2s. Oxygen content in the  mineral wool is reduced to less than 10%, pref. below 5%, more pref.  below 1% before irradiation. The mineral wool is also cooled before  irradiation. Irradiation (hv) can be effected from both sides of the  fibrous material simultaneously, an area of reduced polymerisation  occurring at the centre area between both material faces. The  prepolymer binder includes an epoxy-acrylate mixture. The UV beam</p> <p>DE 4421254-A +</p>

may be fixed and form a line along the passing material or is point-like and moves across the material from side to side, thereby covering the entire surface. The focal point of the beam occurs either on or inside the mineral wool surfaces. UV sources can be located opposite both faces of the mineral wool.(1L)



(10pp2056DwgNo.4/6)

DE 4421254-A

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 44 21 254 A 1

21 Aktenzeichen: P 44 21 254.2  
22 Anmeldetag: 17. 6. 94  
43 Offenlegungstag: 21. 12. 95

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
C 08 F 2/48  
C 08 J 3/28  
C 08 J 3/24  
C 08 L 63/10  
B 29 C 35/08  
D 04 H 1/42  
D 04 H 1/48  
F 16 L 59/04

DE 44 21 254 A 1

71 Anmelder:  
Grünzweig + Hartmann AG, 67059 Ludwigshafen,  
DE

74 Vertreter:  
Kuhnen, Wacker & Partner, Patent- und  
Rechtsanwälte, 85354 Freising

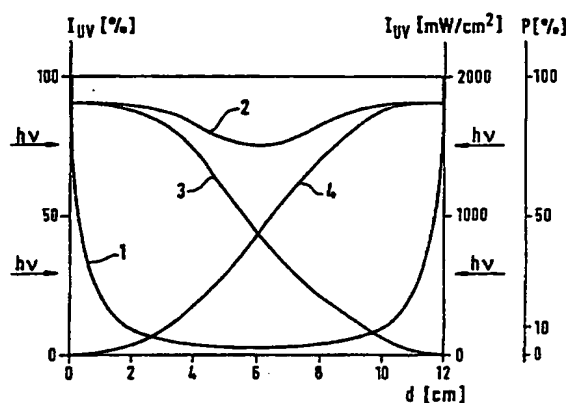
72 Erfinder:  
Mertz, Frédéric, Le Bourget, FR; Chartier, Pascal,  
Orsay, FR; Decker, Christian, Rixheim, FR

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 35 29 800 A1  
US 52 75 874  
US 43 00 468  
EP 04 92 868 A1

54 Verfahren und Vorrichtung zum Polymerisieren von Substanzen in Fasermaterialien, insbesondere Bindemittel in Mineralwollematerialien für Dämmzwecke

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Polymerisieren von Substanzen in Fasermaterialien, insbesondere Bindemittel in Mineralwollematerialien für Dämmzwecke, wobei das Fasermaterial einer bestimmten Dicke ( $d$ ) einer UV-Bestrahlung ausgesetzt wird, um die Substanz in Form eines Prepolymers, mit dem die Fasern imprägniert sind, zu polymerisieren, wobei die Bestrahlung des Materials mit so hoher Intensität ( $I_{UV}$ ) durchgeführt wird, daß sich in der maximalen Tiefe ( $d$ ) im Material, in der eine vollständige Polymerisation erfolgen soll, noch eine Restintensität oberhalb desjenigen Schwellenwertes ergibt, bei dem eine vollständige Polymerisation der gewählten Substanz unter UV-Einfluß innerhalb einer solchen Zeitspanne erfolgt, innerhalb welcher noch keine unerwünschte Degradation von organischen Stoffen im Bereich der Oberfläche des Materials als Folge der dortigen Strahlungseinwirkung erfolgt, wobei die Zeitdauer der Bestrahlung eines Flächenelements des Materials innerhalb dieser Zeitspanne gehalten wird.



DE 44 21 254 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Polymerisieren von Substanzen in Fasermaterialien, insbesondere Bindemittel in Mineralwollematerialien für Dämmzwecke, wobei das gegebenenfalls auf einer Produktionslinie kontinuierlich bewegte Fasermaterial einer bestimmten Dicke einer UV-Bestrahlung ausgesetzt wird, um die Substanz in Form eines Präpolymers, mit dem die Fasern imprägniert sind, zu polymerisieren und eine Vorrichtung zum Polymerisieren von Substanzen in Fasermaterialien, wie insbesondere eines Bindemittels in Mineralwollematerial für Dämmzwecke, mit wenigstens einer UV-Strahlungsquelle.

Eine derartige Technik ist aus der US-A-5 275 874 bekannt. Ziel der bekannten Vorgehensweise ist es, das Material gleichförmig über seine Dicke durchzupolymerisieren. Mit Rücksicht auf den exponentiellen Abfall der durch die UV-Strahlen im Material freigesetzten Energie mit der Entfernung von der Oberfläche des Materials ist zur Erzielung einer möglichst gleichförmigen Härtung eine erhebliche Einwirkungsdauer erforderlich. Im Beispielsfalle der US-A-5 275 874 fällt die Intensität der Strahlung über die Dicke des Materials auf 1% der einfallenden Strahlung ab, und erfolgt ein Durchlauf des Materials unter einer Mehrzahl hintereinander angeordneter UV-Lampen hindurch, im wesentlichen entsprechend einem Durchlauf durch den Tunnelofen bei der bislang in der Praxis üblichen thermischen Aushärtung.

Bei einer solchen Behandlung ist nach den Erfahrungen im Rahmen der vorliegenden Erfindung ein Verbrennen oder Karbonisieren der oberflächenseitigen organischen Bestandteile des Mineralwollematerials unvermeidlich. Mit Rücksicht auf den starken Abfall der Intensität, also der pro Flächeneinheit freigesetzten Leistung, mit der Tiefe unterhalb der bestrahlten Oberfläche ist ein solcher Energieeintrag an der bestrahlten Oberfläche des Mineralwollematerials erforderlich, der dort zu einem Karbonisieren oder Verbrennen der oberflächenseitigen organischen Bestandteile, wie etwa des Bindemittels, führt.

Demgegenüber liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 zu schaffen, mit dem die gewünschte Polymerisierung auch noch in erheblichen Tiefen des Materials unterhalb der bestrahlten Oberfläche ohne unerwünschte Zersetzungerscheinungen an der Oberfläche des Materials möglich ist.

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt dadurch, daß die Bestrahlung mit so hoher Intensität durchgeführt wird, daß sich in der maximalen Tiefe im Material, in der eine Polymerisation erfolgen soll, noch eine Restintensität oberhalb desjenigen Schwellenwerts ergibt, bei dem eine Polymerisation der gewählten Substanz, beispielsweise eines Präpolymers oder eines Bindemittels unter dem Einfluß von UV-Strahlung innerhalb einer bestimmten Zeitspanne erfolgt, in der noch keine unerwünschte Degradation von organischen Stoffen im Bereich der Oberfläche des Materials als Folge der dortigen Strahlungseinwirkung eintritt, und daß die Zeitdauer der Bestrahlung eines Flächenelements des Materials innerhalb dieser Zeitspanne gehalten wird. Diese Zeitspanne wird für den Fall, daß das Material in einer Produktionslinie kontinuierlich bewegt wird, auch kompatibel zur Geschwindigkeit der Produktionslinie gewählt.

Im Rahmen der Arbeiten im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung hat sich gezeigt, daß bei den

beispielsweise als Präpolymer in Frage kommenden Substanzen ein Schwellenwert der Intensität, also der Strahlungsleistung pro Flächeneinheit, vorliegt, oberhalb dessen die Polymerisation in sehr kurzer Zeit, praktisch schlagartig, abläuft. Eine Erhöhung der Intensität über diesen Schwellenwert hinaus führt zu keiner merklichen Beschleunigung der Polymerisation, beeinträchtigt diese aber auch nicht. Andererseits erfolgt die für das Auftreten von Degradationserscheinungen maßgebliche Temperaturerhöhung an der bestrahlten Oberfläche im wesentlichen proportional mit der Einwirkungsdauer der Strahlung, wobei die Geschwindigkeit der Temperaturerhöhung mit der Intensität naturgemäß zunimmt.

Mit der Beaufschlagung durch UV-Strahlung wird in Abhängigkeit von der Strahlungsintensität Wärme freigesetzt, sei es durch die von der UV-Quelle mit abgestrahlte Wärmestrahlung, sei es durch Energieverluste der UV-Strahlung und damit deren Transformation zu IR-Strahlung; diese Effekte zeigen sich an der Oberfläche des Materials am ausgeprägtesten, so daß dort die höchsten Temperaturen auftreten, die beim Überschreiten einer bestimmten Grenztemperatur zu Zersetzungerscheinungen führen können.

Diese parallel, jedoch mit unterschiedlichem Zeitverhalten ablaufenden Effekte werden nach der Lehre der Erfindung nun dahingehend ausgenutzt, daß zunächst der Schwellenwert der Intensität ermittelt wird, bei dem die Polymerisation der Substanz sehr schnell, beispielsweise innerhalb von 0,2 s, erfolgt. Mit dieser Einwirkungsdauer wird das betreffende Flächenelement dann bestrahlt, wobei die Intensität der Bestrahlung an der Materialoberfläche so weit erhöht werden kann, daß innerhalb dieser vorgegebenen Zeitspanne von z. B. 0,2 s ein Temperaturanstieg unterhalb einer vorgegebenen Grenztemperatur bleibt, über der Degradationserscheinungen zu befürchten sind. Diese maximal ohne Zersetzungerscheinungen in der gegebenen kurzen Zeitdauer aufzubringende Intensität gibt dann wiederum anhand des Intensitätsabfalls im Material diejenige Tiefe des Materials wieder, innerhalb der die Intensität immer noch über dem Schwellenwert liegt, und innerhalb der mithin eine praktisch gleichförmige Polymerisation erfolgen kann.

Da jedes Flächenelement somit einer hohen Strahlungsintensität über eine nur kurze Zeitdauer hinweg ausgesetzt wird, kann die Bestrahlung auf engem Raum erfolgen und spart somit Platz an der Produktionslinie. Im Falle einer kontinuierlich bewegten Materialbahn auf der Produktionslinie ist die Zeitdauer der Bestrahlung jedes Flächenelements überdies kompatibel mit der Geschwindigkeit der Produktionslinie, üblicherweise zwischen 0,1 und 1 m/s, zu wählen.

Wenn die Bestrahlungsintensität über 500 mW/cm<sup>2</sup>, insbesondere über 1 W/cm<sup>2</sup>, und besonders bevorzugt über 2 W/cm<sup>2</sup> liegt, so lassen sich einerseits in kostengünstiger Weise handelsübliche UV-Quellen nutzen, andererseits aber dennoch hohe Oberflächenintensitäten erzielen. Wie dies an sich bekannt ist, sind dabei UV-Quellen mit einer Strahlung im Wellenlängenbereich oberhalb 250 nm, vorzugsweise oberhalb 310 nm mit Rücksicht auf die in diesem Bereich relativ höhere Transmissivität des Mineralwollematerials bevorzugt.

Die Zeitdauer der Bestrahlung eines Flächenelements liegt vorzugsweise unter zehn Sekunden, und ist bevorzugt geringer als eine Sekunde, insbesondere kleiner als 0,2 s.

Bei vielen konventionellen Produktionsverfahren

werden die Mineralfasern aus der Schmelze erzeugt, im Zuge ihrer Ablage zur Wollelage mit der Substanz, beispielsweise dem Präpolymer des Bindemittels versehen, und sodann die Substanz, beispielsweise das Bindemittel, ausgehärtet. In einem solchen Falle ist das Mineralwollematerial zum Zeitpunkt der Aushärtung der Substanz noch auf relativ erhöhter Temperatur, so daß der oberflächenseitige Temperaturanstieg bis zur Grenztemperatur unter der Einwirkung der Bestrahlung von einer relativ hohen Ausgangstemperatur ausgeht.

Insbesondere in einem solchen Fall ist es bevorzugt, das Mineralwollematerial vor der Bestrahlung auf eine möglichst niedrige Temperatur abzukühlen, um so die zulässige Temperaturerhöhung durch die Einwirkung der Bestrahlung zu vergrößern. Kühlmaßnahmen während der Bestrahlung haben hingegen mit Rücksicht auf die kurze Zeitdauer der Bestrahlung keinen solchen Einfluß, der den damit einhergehenden Aufwand rechtfertigen würde. Die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist andererseits bei all denjenigen Produktionsmethoden besonders vorteilhaft, bei denen das Mineralwollematerial vor der Aushärtung bei abgesenkter Temperatur, vorzugsweise Umgebungstemperatur vorliegt. Dies ist beispielsweise der Fall bei Einbringung des Bindemittels in Dampf- oder Aerosolform, wie dies aus den DE-A-44 06 863 bzw. DE-A-44 10 020 bekannt ist.

Bevorzugt wird der Anteil an Sauerstoff im Fasermaterial, der bei üblicher Arbeit in der umgebenden Atmosphäre bei ca. 21% liegt, bei der Bestrahlung auf unter 10%, besser noch auf unter 5% und besonders bevorzugt auf unter 1% reduziert. Bei der üblichen Polymerisation unter Nutzung von Radikalen wird dadurch vermieden, daß die durch die Strahlung erzeugten freien Radikale der zu polymerisierenden Substanz durch Sauerstoff belegt werden und eine Polymerisation an dieser Stelle damit verhindert wird. Dies ist besonders von Bedeutung bei dünner Film- oder Schichtdicke von Monomeren und geringer Intensität der Bestrahlung.

Bevorzugt erfolgt die Bestrahlung von beiden Großflächen des Materials aus, so daß die Strahlungsenergie von beiden Seiten über die Dicke des Materials vordringt. Damit kann die Eindringtiefe der Strahlung mehr als verdoppelt werden, wenn sich die beiden Eindringtiefen in der Mitte des Materials überlagern. Dieser Überlagerungseffekt wird besonders gut genutzt, wenn die Bestrahlung beider Seiten zugleich erfolgt, so daß an einer bestimmten Stelle im Material die Energien aus der Bestrahlung beider Seiten gleichzeitig vorliegen.

Dabei ist es nicht erforderlich, daß eine über die Dicke des Materials gleichförmige Polymerisation oder Durchhärtung erfolgt. Gerade bei beidseitiger Bestrahlung kann es völlig ausreichen, wenn die oberflächennahen Schichten des Materials durchgehärtet sind, und ein mehr oder weniger breiter Innenbereich mit erheblich verminderter Polymerisation bleibt. Im Falle der Aushärtung eines Bindemittels ergibt sich dadurch der durch die Aushärtung erstrebte Festigkeitszuwachs in den Außenbereichen, so daß die Biegefestigkeit, auf die es häufig vor allem ankommt, unter einer verminderten Festigkeit im Bereich der Plattenmitte kaum leidet. Eine nicht vollständige Durchhärtung ist häufig auch akzeptabel, wenn es auf andere Eigenschaften als Biegefestigkeit ankommt, beispielsweise auf oberflächenseitige Dichtigkeit und Festigkeit oder dergleichen. Weiter kann sich bei der Polymerisation anderer Substanzen als Bindemittel je nach Funktion der Substanz und Anwendung des Produktes eine ungleichmäßige Polymerisation über die Dicke als zweckmäßig erweisen.

Für den Fall einer ungleichmäßigen Polymerisation über die Dicke kann es auch zweckmäßig sein, nach der Lehre der DE-A-44 06 863 oder DE-A-44 10 020 die Substanz bereits in ungleichförmiger Mengenverteilung in das Material einzubringen. Beispielsweise im Falle von Bindemittel kann hierdurch eine höhere Bindemittelkonzentration im Bereich der Außenseiten erzielt werden als im Bereich der Plattenmitte, so daß sich eine gewünschte optimale Nutzung einer bestimmten Bindemittelmenge bei der Produktion ergibt.

Als Präpolymere kommen insbesondere multifunktionale Acryl- und Methacryl-Verbindungen in Frage, wie dies an sich bekannt ist. Weiterhin können als Substanz Präpolymere in Form von Monomeren, Oligomeren oder Polymeren mit polymerisierbaren, ungesättigten funktionalen Gruppen wie Acrylat-, Methacrylat-, Vinyl-, Vinylether-, Allyl-, oder Maleatgruppen, welche im Sinne einer Kettenerweiterung und/oder Quervernetzung zu reagieren vermögen, verwendet werden. Das Bindemittel kann ein Gemisch aus diesen Komponenten sein und weist zur Ermöglichung einer Polymerisation durch UV-Licht einen Photoinitiator auf. Als besonders bevorzugt im Rahmen der vorliegenden Erfindung haben sich präpolymere Gemische erwiesen, die Epoxyacrylat enthalten.

Eine erfindungsgemäße Vorrichtung, die zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens dient, zeichnet sich dadurch aus, daß eine Einrichtung zur Bündelung der UV-Strahlung auf wenigstens ein Strahlenbündel geringer Breite vorgesehen ist.

Durch eine solche Bündelung kann eine gewünschte Höhe der Oberflächenintensität erreicht werden.

Insbesondere bei einer Polymerisation an einer laufenden Produktionslinie kann es bevorzugt sein, wenn die Bündelung linienförmig, beispielsweise also quer über die Breite der Produktionsbahn, erfolgt. Dann kann ohne irgendwelche bewegten Teile die Breite des linienförmigen Strahlenbündels auf die Fördergeschwindigkeit der Produktionsbahn derart abgestimmt werden, daß sich eine gewünschte Zeitdauer der Bestrahlung jedes Flächenelements ergibt.

Alternativ kann jedoch die Bündelung auch punktförmig erfolgen, wobei der so gebildete dünne Strahl sehr hoher Intensität das Material in einem gewünschten, vorzugebenden Muster überstreicht. Somit kann die Substanz in Fasermaterial ausgehärtet werden, welches im Fall von Formteilen eine nicht ebene Oberfläche aufweist, beispielsweise bei Schalen Hohlzylinderform besitzt. Diese Bewegung des Strahlenbündels ist beispielsweise mittels eines Kippspiegels auch mit durchaus begrenztem Aufwand erzielbar. Die hohe Intensität oder Leistungsdichte eines solchen punktförmigen Strahlenbündels ermöglicht hohe Eindringtiefen der Polymerisation bei Substanzen mit besonders geringer Polymerisationszeit. Insbesondere ermöglicht ein solches Überstreichen mit einem dünnen Strahl eine gute Anpassung an unterschiedliche Liniengeschwindigkeiten. Für gewisse Anwendungsfälle mag es dabei genügen, nur einen Teil der Gesamtoberfläche des Fasermaterials mit dem Strahl zu bestreichen und Lücken dazwischen zu lassen, in denen die Polymerisation nicht nötig ist oder als Fernwirkung der benachbarten Bestrahlung erfolgt.

Bevorzugt ist das Strahlenbündel auf einen endlichen Brennpunkt hin ausgerichtet, also in einer Spitze zulaufend statt aus parallelen Strahlen bestehend. Durch geeignete Fokussierung kann der Brennpunkt in eine gewünschte Tiefe des Materials verlegt werden, so daß

dort, wenn auch abgemildert durch Streuung an weiter oben liegenden Fasern, eine relativ höhere Intensität auf kleinerer Fläche erreicht wird. Eine solche Ausbildung des Strahlenbündels eignet sich insbesondere bei linienförmig ausgebildetem Strahlenbündel.

Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsformen anhand der Zeichnung.

Es zeigt:

Fig. 1 einen typischen Verlauf der Intensität über die Dicke oder Wandstärke eines Mineralwolleproduktes bei beidseitiger UV-Bestrahlung,

Fig. 2 den Verlauf der Umwandlungsrate durch Polymerisation über der Zeit bei verschiedenen Intensitäten,

Fig. 3 den Verlauf der oberflächenseitigen Erwärmung des Mineralwollematerials bei verschiedenen Intensitäten,

Fig. 4 den Zusammenhang zwischen Intensitätsverlauf und Polymerisation über die Dicke oder Wandstärke eines erfindungsgemäß behandelten Mineralfaserproduktes bei beidseitiger UV-Bestrahlung,

Fig. 5 eine schematisch vereinfachte Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit linienförmiger Bündelung der UV-Strahlung, und

Fig. 6 eine schematisch vereinfachte Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit Einwirkung eines punktförmigen Strahlenbündels auf das Mineralwollematerial.

Um das Verständnis zu erleichtern, werden nachfolgend gleiche Bezugszeichen für identische oder entsprechende Gegenstände bzw. graphisch dargestellte Verläufe von physikalischen Zusammenhängen verwendet.

Fig. 1 veranschaulicht einen typischen Verlauf der lokalen Intensität einer UV-Strahlung über die Dicke bzw. Wandstärke eines Fasermaterials, beispielsweise eines Mineralwolleproduktes, bei beidseitiger UV-Bestrahlung der Oberfläche des Produkts.

An der Abszisse bzw. X-Achse ist die Dicke bzw. Wandstärke  $d$  des Mineralwolleproduktes von im Beispielsfall 12 cm abgetragen. Die linke Ordinate bzw. Y-Achse zeigt die Intensität der UV-Strahlung  $I_{UV}$  von 0 bis 100% und die rechte Ordinate bzw. Y-Achse zeigt die Intensität der UV-Strahlung  $I_{UV}$  von 0 bis 2000 mW/cm<sup>2</sup>. Im dargestellten Beispiel entsprechen 2000 mW/cm<sup>2</sup> den 100% Intensität der UV-Strahlung.

Rechts von der rechten Ordinate einerseits und links von der linken Ordinate andererseits sind Pfeile eingezeichnet, die zur Bildmitte weisend die Einstrahlung der UV-Strahlung mit der Energie  $h\nu$  symbolisieren sollen. Da die Bestrahlung von beiden Seiten des Mineralwolleproduktes erfolgt, ist der mit der Kurve 1 veranschaulichte Verlauf der Intensität über der Dicke  $d$  näherungsweise symmetrisch zur Mitte, so daß zunächst nur die linke Hälfte des Diagramms betrachtet wird. Es ist erkennbar, daß die Intensität  $I_{UV}$  bereits über einer relativ kurzen Eindringtiefe  $d$  steil abfällt. Von anfänglich 100% Intensität  $I_{UV}$  an der Mineralwolleoberfläche fällt die Intensität  $I_{UV}$  in diesem Beispielsfall bereits nach weniger als 1 cm Eindringtiefe auf unter 50%, nach einer Eindringtiefe von ungefähr 2 cm bereits auf unter 10%, und beträgt in der Mitte des Mineralwolleproduktes nur noch unter 5% der oberflächenseitig eingebrachten Intensität  $I_{UV}$ . Dieser steile Abfall der Intensität  $I_{UV}$  über der Eindringtiefe wird einerseits durch die geringe Transmission der UV-Strahlung durch das Mineralwollematerial verursacht und ist andererseits auf Umwandlung von UV-Strahlungsenergie in Wärmeenergie bereits in den obersten Schichten des Mineral-

fasermaterials, ohne daß dabei eine Polymerisation stattfindet, zurückzuführen.

Eine erste Beurteilung des gezeigten Intensitätsverlaufs 1 führt zu dem Ergebnis, daß eine befriedigende Polymerisation von Substanzen in Fasermaterialien nur in deren oberflächenseitigem Bereich möglich sein kann, da die Intensität  $I_{UV}$  der UV-Strahlung zu schnell abnimmt, um noch genügend Restintensität in den mittleren Bereichen zur Verfügung stellen zu können, damit auch dort eine zufriedenstellende Polymerisation erfolgreich durchgeführt werden kann. Erhöht man nun demzufolge die Intensität  $I_{UV}$  der Strahlung soweit, daß im mittleren Bereich des Fasermaterials noch erfolgreich polymerisiert werden kann, sind zwangsweise an der Oberfläche solche hohen Intensitäten notwendig, daß eine Beschädigung des oberflächenseitigen Materials, beispielsweise ein Karbonisieren oder Verbrennen der oberflächenseitigen organischen Bestandteile wie etwa der polymerisierbaren Substanz oder eines Bindemittels, nicht vermieden werden kann.

In Fig. 2 ist der Verlauf der Polymerisation von Substanzen in Fasermaterialien über der Zeit bei unterschiedlich hohen Intensitäten der UV-Strahlung dargestellt. An der Abszisse bzw. X-Achse ist die Zeit der Bestrahlung  $t$  in Sekunden von 0 bis 1,5 s abgetragen. Die linke Ordinate bzw. Y-Achse zeigt die erfolgte Umwandlungsrate durch Polymerisation  $P$  von 0 bis 100%. Die Kurven  $I_{UV1}$  bis  $I_{UV7}$  zeigen verschiedene Intensitäten  $I_{UV}$  der UV-Strahlung von beispielsweise  $I_{UV1} = 2$  mW/cm<sup>2</sup> über  $I_{UV2} = 5$  mW/cm<sup>2</sup>,  $I_{UV3} = 11$  mW/cm<sup>2</sup>,  $I_{UV4} = 25$  mW/cm<sup>2</sup>,  $I_{UV5} = 55$  mW/cm<sup>2</sup>,  $I_{UV6} = 128$  mW/cm<sup>2</sup> bis  $I_{UV7} = 220$  mW/cm<sup>2</sup>. Die Intensität  $I_{UV}$  nimmt also von  $I_{UV1}$  bis  $I_{UV7}$  zu.

Alle sieben Kurven weisen typische Gemeinsamkeiten auf. Dies ist zuerst ein gemeinsamer Anfangspunkt im Ursprung 0 des Diagramms. Diesem gemeinsamen Anfangspunkt folgt mit geringer Verzögerung ein Anstieg der Kurve mit einem positiven Gradienten  $dP/dt$ , an den sich ein nahezu linearer Anstiegsbereich mit konstantem positivem Gradienten  $dP/dt$  anschließt. Dieser Bereich des linearen Anstiegs geht weiterhin bei allen gezeigten Kurven unter Abnahme des Anstiegs, also mit einem abnehmenden positiven Gradienten  $dP/dt$ , in einen nahezu waagrechten linearen Bereich ohne weiteren Anstieg über, also mit konstantem Gradienten  $dP/dt$  von näherungsweise 0. Der in diesem konstanten Bereich erreichte Grenzwert der Umwandlungsrate durch Polymerisation  $P$  kann als Sättigungsgrenze der folgenden Polymerisation  $P$  bei einer bestimmten Strahlungsintensität  $I_{UV}$  bezeichnet werden.

Die Steilheit des linearen Anstiegs im vorderen Bereich der Kurven nimmt mit zunehmender Intensität  $I_{UV}$  der UV-Strahlung zu und ist bei der Kurve für  $I_{UV1}$  mit 2 mW/cm<sup>2</sup> fast nicht ausgeprägt, wohingegen für die Kurve  $I_{UV7}$  mit 220 mW/cm<sup>2</sup> ein sehr steiler Anstieg erkennbar ist. Der Übergangsbogen vom steilen Anstieg im vorderen Bereich der Kurven hinüber zum waagrechten nahezu linearen Bereich des fast konstant auslaufenden Teils der Kurven ist bei den beiden Intensitäten  $I_{UV1}$  und  $I_{UV2}$  erst schwach ausgeprägt, bei der Intensität  $I_{UV3}$  bereits erkennbar und die Intensitäten  $I_{UV4}$  bis  $I_{UV7}$  zeigen einen klar ausgeprägten Übergangsbogen vom steilen Anstieg zum konstanten Bereich der Kurven auf. Dabei ist erkennbar, daß dieser Übergangsbogen mit zunehmender Intensität  $I_{UV}$  früher auftritt.

Das bedeutet, daß bei geringen Intensitäten  $I_{UV}$  der UV-Strahlung das Mineralwollematerial relativ lange

bestrahlt werden muß, bis keine weitere Zunahme der ohnehin erst geringen Polymerisation mehr erfolgt. Wird hingegen eine relativ hohe UV-Strahlung verwendet, um das Mineralwollematerial zu bestrahlen, so wird in sehr kurzer Zeit bereits ein hoher Polymerisationsgrad erreicht, der sehr rasch auf ein Maximum ansteigt, und dann nicht mehr weiter steigerbar ist, sondern konstant verläuft. Dies bedeutet, daß es für jede erhebliche Strahlungsintensität einen Grenzwert der Bestrahlungszeit gibt, innerhalb dessen eine maximale Polymerisation erreicht ist und dessen Überschreitung durch längere Bestrahlung keine weitere Erhöhung der Polymerisation erbringen kann.

Im gezeigten Beispiel bedeutet dies, daß bei einer Intensität  $I_{UV}$  von  $220 \text{ mW/cm}^2$  bereits nach ca.  $0,05 \text{ s}$  ein steiler Anstieg der Polymerisation eintritt, die bereits nach einer Bestrahlungsdauer von  $0,2 \text{ s}$  bis  $0,3 \text{ s}$  ihren maximalen Wert, in diesem Beispiel von ca.  $80\%$  erreicht. Es last nachvollziehbar, daß bei ausreichender Intensität der Bestrahlung schon nach sehr kurzen Bestrahlungszeiten ein hohes Maximum der Polymerisation erreicht werden kann.

Die oberflächenseitige Erwärmung des Fasermaterials bzw. des Mineralwollematerials bei verschiedenen Intensitäten der UV-Strahlung ist unter Bezugnahme auf Fig. 3 nachfolgend näher erläutert. Die Abszisse bzw. X-Achse zeigt den Zeitverlauf  $t$  in Sekunden. An der Ordinate bzw. Y-Achse ist die Temperatur der Oberfläche des Mineralwollematerials in  $^{\circ}\text{C}$  abgetragen. Die waagrechte gestrichelte Linie bei  $20^{\circ}\text{C}$  symbolisiert die Umgebungstemperatur als Bezugsgröße. Im vorliegend betrachteten Beispielfall wird davon ausgegangen, daß das Mineralwollematerial mit einer Temperatur von ca.  $20^{\circ}\text{C}$  vor der Bestrahlung vorliegt. Die zweite waagrechte gestrichelte Linie bei  $200^{\circ}\text{C}$  zeigt den oberen Grenzwert der thermischen Belastung der organischen Bestandteile wie etwa der polymerisierbaren Substanz oder des Bindemittels eines üblichen Mineralwollematerials an seiner Oberfläche. Im Diagramm selbst sind für zwei verschiedene Intensitäten  $I_{UV1}$  und  $I_{UV2}$  die Temperaturverläufe über der Zeit gezeigt, von denen  $I_{UV1}$  die kleinste von im Beispielfalle  $1000 \text{ mW/cm}^2$  und  $I_{UV2}$  die größte Intensität von im Beispielfalle  $2000 \text{ mW/cm}^2$  bedeutet. Es ist erkennbar, daß die Temperatur der Oberfläche des Mineralwollematerials nahezu proportional mit der Zeit bei gleichbleibender Intensität der UV-Strahlung ansteigt. Dieser lineare Verlauf des Temperaturanstiegs ist von der Intensität  $I_{UV}$  insofern abhängig, daß die Steigung dieser Temperaturgeraden mit zunehmender Intensität zunimmt. Wird das Mineralwollematerial mit hohen Intensitäten der UV-Strahlung bestrahlt, so ist die Grenztemperatur von beispielsweise  $200^{\circ}\text{C}$ , bei der an der Oberfläche des Mineralwollematerials Schäden auftreten, bereits nach einer relativ kurzen Zeit erreicht.

Das neu gewonnene Wissen um diese Zusammenhänge läßt sich im Rahmen der vorliegenden Erfindung umsetzen, indem man bei der Bestrahlung von Mineralwollematerialien die Bestrahlungszeiten soweit reduziert, daß man gerade noch den Übergangsbogen vom steilen Anstieg zum Maximum der Polymerisation erreicht. Somit können Intensitäten eingesetzt werden, die bei längerer Bestrahlung zwar zu Schäden an der Oberfläche führen würden, jedoch bei diesen kurzen Bestrahlungszeiten keine Schäden an der Oberfläche verursachen und dennoch ausreichende Intensitätseinbringung bis in die Mitte des Materials erlauben, um dort auch noch eine zufriedenstellende Polymerisation P inner-

halb der Bestrahlungszeit durchführen zu können.

Zusammen mit den in Fig. 1 und Fig. 2 veranschaulichten physikalischen Zusammenhängen wird deutlich, daß es in Abhängigkeit von der Intensität  $I_{UV}$  der UV-Strahlung, der Dicke  $d$  des Mineralwolleproduktes, der Bestrahlungszeit  $t$  und der gezeigten Grenztemperatur ein sogenanntes Arbeitsfenster gibt, in dem eine maximale und schnelle Polymerisation von Substanzen in Fasermaterialien möglich ist, ohne dabei oberflächenseitige Beschädigungen befürchten zu müssen.

Das Mineralwollematerial kann vor der Bestrahlung infolge vorausgegangener Behandlungsschritte mit hoher Temperatur vorliegen. Eine weitere Erwärmung infolge der Bestrahlung kann dann relativ rasch zum Überschreiten der Grenztemperatur und damit zu thermischen Belastungen der organischen Bestandteile wie etwa der polymerisierbaren Substanz oder des Bindemittels eines üblichen Mineralwollematerials an seiner Oberfläche führen. Daher ist es vorgesehen, das Mineralwollematerial gegebenenfalls vor der Bestrahlung beispielsweise durch geeignete Vorrichtungen, wie sie in der DE-A-44 06 863 bzw. DE-A-44 10 020 vorgeschlagen sind, abzukühlen, so daß eine schnelle Überschreitung der Grenztemperatur durch die Bestrahlung und damit oberflächenseitige Beschädigungen ausgeschlossen werden können.

Der sich erfindungsgemäß beispielhaft ergebende Zusammenhang zwischen Intensitätsverlauf einerseits und Polymerisation andererseits über die Dicke bzw. Wandstärke  $d$  eines Mineralfaserproduktes bei beidseitiger UV-Bestrahlung ist in Fig. 4 dargestellt. Die Abszisse zeigt ebenso wie in Fig. 1 die Dicke bzw. Wandstärke  $d$  eines Mineralwolleproduktes von im Beispielfalle  $12 \text{ cm}$ . An der linken Ordinate ist die Intensität  $I_{UV}$  von  $0$  bis  $100\%$  und an der rechten Ordinate die Intensität  $I_{UV}$  von  $0$  bis  $2000 \text{ mW/cm}^2$  abgetragen. Hierbei entsprechen  $100\%$  Intensität den  $2000 \text{ mW/cm}^2$ . Zusätzlich ist an der rechten Ordinate die Polymerisation  $P$  von  $0$  bis  $100\%$  angetragen. Ebenso wie in Fig. 1 symbolisieren die Pfeile  $h\nu$  von rechts und von links den Energieeintrag durch die Bestrahlung mit der UV-Strahlung. Die Kurve 1 zeigt wiederum den Intensitätsverlauf über der Dicke  $d$  entsprechend Fig. 1. Eine Kurve 3 zeigt den Verlauf der Polymerisation  $P$  bei einer Bestrahlung von links und eine Kurve 4 zeigt den Verlauf der Polymerisation  $P$  bei einer Bestrahlung von rechts. Wird von beiden Seiten bestrahlt, ergibt sich der Verlauf der Polymerisation  $P$  aus einer Überlagerung der Kurven 3 und 4, was graphisch mit einer Kurve 2 dargestellt ist. Die Kurven 3 und 4 sind im dargestellten Beispielfalle zueinander näherungsweise spiegelbildlich zur Mitte des Mineralwollematerials, so daß die Kurve 2 ebenfalls näherungsweise zur Mitte des Materials symmetrisch ist.

Im weiteren werden zunächst die Kurven 1 und 3 betrachtet, anhand derer der Zusammenhang zwischen Intensitätsverlauf und Polymerisation  $P$  gezeigt werden soll. Solange die Intensität  $I_{UV}$ , die in der Kurve 1 bereits nach geringer Eindringtiefe steil abfällt, noch einen ausreichend hohen Grenzwert übersteigt, findet eine nahezu maximale Polymerisation  $P$  statt. Wird dieser Grenzwert unterschritten, fällt die Kurve 3 ebenfalls ab und geht schließlich gegen  $0$ . Dasselbe gilt für die Kurve 4 bei einer Bestrahlung von rechts. Berücksichtigt man nun die zu Fig. 1 bis Fig. 3 gemachten Ausführungen, so wird deutlich, daß bei einer ausreichend hohen Anfangsintensität der UV-Strahlung an der Oberfläche des Mineralwolleproduktes, welche dann typi-

scherweise sehr rasch abnimmt, jedoch nicht weiter absinkt als ein bestimmter Intensitätsgrenzwert, bei dem noch merklich Polymerisation stattfindet, und bei entsprechend gewählter Bestrahlungsdauer, im Mineralwollematerial über dessen gesamte Dicke eine nahezu gleichmäßig gute Polymerisation erzielt werden kann. Auf diese Art und Weise ist es möglich, Mineralwollematerialien auf ihrer gesamten Dicke durchzupolymerisieren, falls dies gewünscht wird. Es ist jedoch ebenfalls möglich, Substanzen in diesen Mineralwollematerialien nur in ihren Randbereichen polymerisieren zu lassen, und in der Mitte keine oder verminderte Polymerisation stattfinden zu lassen.

Etwaige unpolymersierten Anteile der Substanz im Inneren des Fasermaterials sind durch Reaktionen mit dem Luftsauerstoff und anderen Reaktionspartnern einer Alterung ausgesetzt, welche ihre Reaktivität beseitigen und die Substanz zu einem Inertstoff werden läßt.

Fig. 5 zeigt eine schematisch vereinfachte Darstellung einer beispielhaften Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit linienförmiger Bündelung der UV-Strahlung. Eine UV-Strahlungsquelle 10, vorzugsweise eine linienförmige UV-Strahlungsquelle, befindet sich im ersten Brennpunkt eines Reflektors 12, dessen Querschnitt vorzugsweise parabelförmig oder elliptisch ausgebildet ist. Die von der UV-Strahlungsquelle 10 ausgesendete UV-Strahlung wird mit Hilfe des Reflektors 12 in dessen zweitem Brennpunkt 14 gebündelt. Der zweite Brennpunkt 14 befindet sich im Bereich der Oberfläche des zu bestrahlenden Mineralwollematerials 16 oder innerhalb des Mineralwollematerials. Das Mineralwollematerial 16 kann als Mineralwollematerialbahn vorliegen und wird beispielsweise auf einer nicht näher dargestellten Fördervorrichtung unter wenigstens einer UV-Strahlungsquelle 10 hindurch und/oder über wenigstens eine UV-Strahlungsquelle 10 hinweg befördert und dabei vom linienförmig gebündelten Strahl 18 geringer Breite  $b$  näherungsweise rechtwinklig zur Förderrichtung vorzugsweise kontinuierlich bestrichen.

Fig. 6 zeigt eine schematisch vereinfachte Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit Einwirkung eines punktförmigen Strahlenbündels auf das Mineralwollematerial. Die UV-Strahlungsquelle 10 ist hier punktförmig ausgebildet und im ersten Brennpunkt eines näherungsweise halbellipsoidförmigen Reflektors 12 angeordnet. Mit Hilfe dieses halbellipsoidförmigen Reflektors 12 wird die UV-Strahlung der Strahlungsquelle 10 im zweiten Brennpunkt 14 fokussiert. Der zweite Brennpunkt 14 befindet sich wiederum im Bereich der Oberfläche oder innerhalb des Mineralwollematerials 16, welches beispielsweise als dreidimensionales Formteil ausgebildet sein kann, und dessen Oberflächenkontur vom gebündelten Strahl 18 unter einem Auftreffwinkel von näherungsweise  $90^\circ$  zur Flächennormalen des jeweils bestrahlten Flächenelements bestrichen wird. Dies kann mit Hilfe einer geeigneten, nicht näher dargestellten Vorrichtung der UV-Strahlungsquelle 10 und/oder mit Hilfe von nicht näher dargestellten beweglichen Spiegeleinheiten durchgeführt werden.

Die Vorrichtungen von Fig. 5 und Fig. 6 verwenden endliche Brennpunkte im Bereich des zu behandelnden Mineralwollematerials. Ähnliche Effekte können genauso unter Verwendung von schmalen Strahlenbündeln mit Brennpunkten im Unendlichen, also mit Parallelstrahlen, erzielt werden.

Der Anteil an Sauerstoff im Fasermaterial bei der Behandlung ist vorzugsweise auf unter 10% bzw. besser

noch auf unter 5% bzw. am besten noch auf unter 1% zu reduzieren, so daß praktisch vollständig vermieden werden kann, daß die durch die UV-Strahlung mit Hilfe der Photoinitiatoren erzeugten freien Radikale der zu polymerisierenden Substanz durch Sauerstoff belegt werden und eine Polymerisation an dieser Stelle damit verhindert ist.

Bei ausreichender Reduzierung des Sauerstoffanteils in der Atmosphäre im Fasermaterial kann somit eine vollständigere Polymerisation der Substanz erzielt werden. Dadurch wird vorteilhaft die mögliche Bildung von Ozon reduziert oder ausgeschlossen, da in einer weitestgehend inerten Atmosphäre keine Sauerstoffmoleküle mehr vorhanden sind, um durch die Energie der UV-Strahlung teilweise zu Sauerstoffradikalen aufgespalten zu werden und anschließend Ozon bilden zu können.

Die Reduzierung des Sauerstoffanteils kann auf einfache Weise durch Spülung des Mineralwollematerials mit einem anderen Gas erfolgen, beispielsweise Stickstoff oder, noch kostengünstiger, Kohlendioxid oder Wasserdampf.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Polymerisieren von Substanzen in Fasermaterialien, insbesondere Bindemittel in Mineralwollematerialien für Dämmzwecke, wobei das gegebenenfalls auf einer Produktionslinie kontinuierlich bewegte Fasermaterial einer bestimmten Dicke ( $d$ ) einer UV-Bestrahlung ausgesetzt wird, um die Substanz in Form eines Präpolymers, mit dem die Fasern imprägniert sind, zu polymerisieren, dadurch gekennzeichnet, daß die Bestrahlung des Materials mit so hoher Intensität ( $I_{UV}$ ) durchgeführt wird, daß sich in der maximalen Tiefe im Material, in der eine vollständige Polymerisation erfolgen soll, noch eine Restintensität oberhalb desjenigen Schwellenwertes ergibt, bei dem eine vollständige Polymerisation der gewählten Substanz unter UV-Einfluß innerhalb einer bestimmten Zeitspanne erfolgt, innerhalb welcher noch keine unerwünschte Degradation von organischen Stoffen im Bereich der Oberfläche des Materials als Folge der dortigen Strahlungseinwirkung erfolgt, und die im Falle von auf einer Produktionslinie kontinuierlich bewegtem Fasermaterial kompatibel zur Geschwindigkeit der Produktionslinie gewählt ist, und daß die Zeitdauer ( $t$ ) der Bestrahlung eines Flächenelements des Materials innerhalb dieser Zeitspanne gehalten wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Intensität ( $I_{UV}$ ) an der Oberfläche des Mineralwollematerials über  $500 \text{ mW/cm}^2$ , vorzugsweise über  $1 \text{ W/cm}^2$ , insbesondere über  $2 \text{ W/cm}^2$  liegt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Wellenlänge der verwendeten UV-Strahlung über  $250 \text{ nm}$ , vorzugsweise über  $310 \text{ nm}$  liegt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitdauer ( $t$ ) der Bestrahlung des Flächenelements kleiner ist als zehn Sekunden, bevorzugt unter einer Sekunde und insbesondere unter  $0,2 \text{ s}$  liegt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Mineralwollematerial vor der Bestrahlung oberflächenseitig abge-



kühlt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Sauerstoffanteil der Atmosphäre im Mineralwollematerial auf unter 10%, vorzugsweise auf unter 5% und insbesondere auf unter 1% reduziert ist. 5

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Bestrahlung von beiden Großflächen des Materials aus erfolgt.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Bestrahlung beider Seiten zugleich erfolgt. 10

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß im Mittelbereich des Materials eine Zone verminderter Polymerisation vorgesehen ist. 15

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß als Präpolymer zur Bildung eines Bindemittels ein Epoxyacrylat enthaltendes Stoffgemisch verwendet wird. 20

11. Vorrichtung zum Polymerisieren von Substanzen in Fasermaterialien, wie insbesondere eines Bindemittels in Mineralwollematerial für Dämmzwecke, mit wenigstens einer UV-Strahlungsquelle (10), dadurch gekennzeichnet, daß eine Einrichtung (12) zur Bündelung der UV-Strahlung auf wenigstens ein Strahlenbündel (18) geringer Breite (b) vorgesehen ist. 25

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Strahlenbündel (18) linienförmig ausgebildet und vorzugsweise ortsfest gehalten ist. 30

13. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Strahlenbündel (18) punktförmig ausgebildet ist und das Mineralwollematerial (16) mit hoher Geschwindigkeit von einer Seite zur anderen überstreicht und so vorzugsweise dessen gesamte Oberfläche bestrahlt. 35

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Strahlenbündel einen Brennpunkt (14) innerhalb des zu behandelnden Mineralwollematerials (16) aufweist. 40

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß UV-Strahlungsquellen (10) zu beiden Seiten der Großflächen des Mineralwollematerials (16) angeordnet sind. 45

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

50

55

60

65

Fig. 1

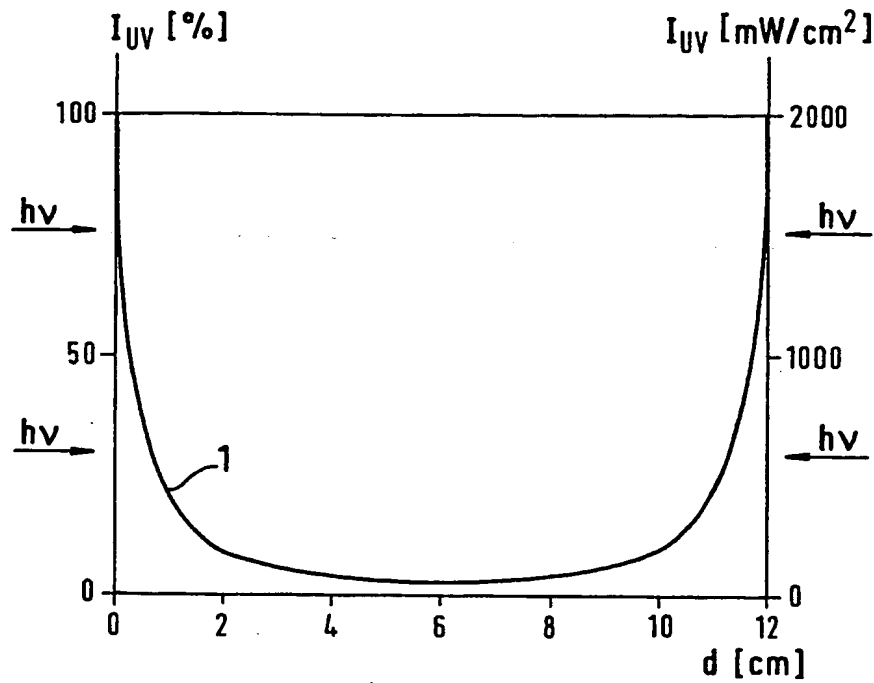


Fig. 2

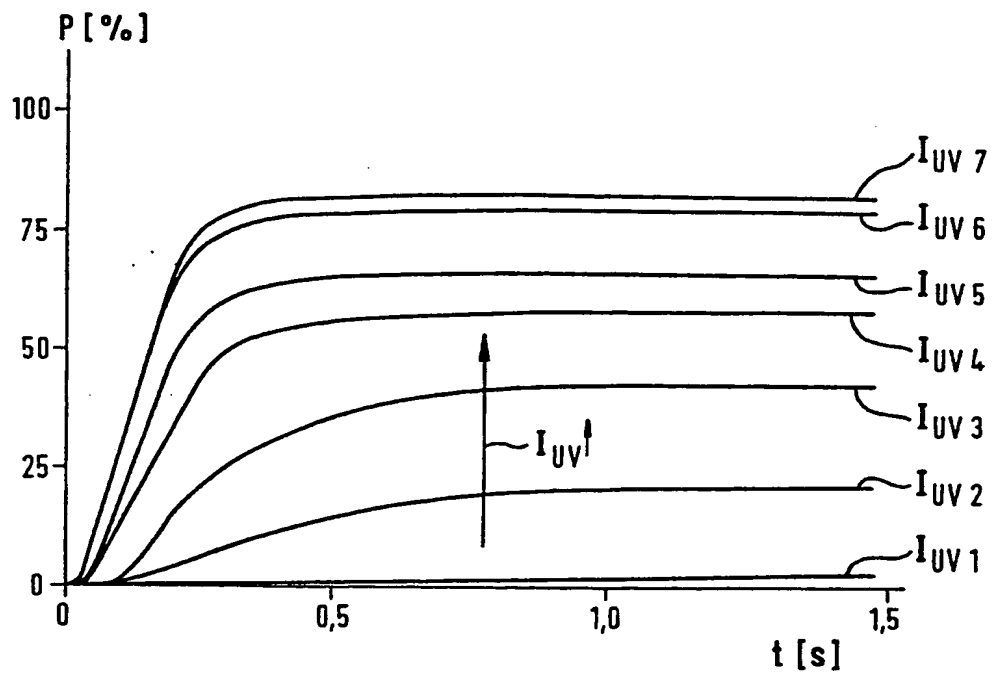


Fig. 3

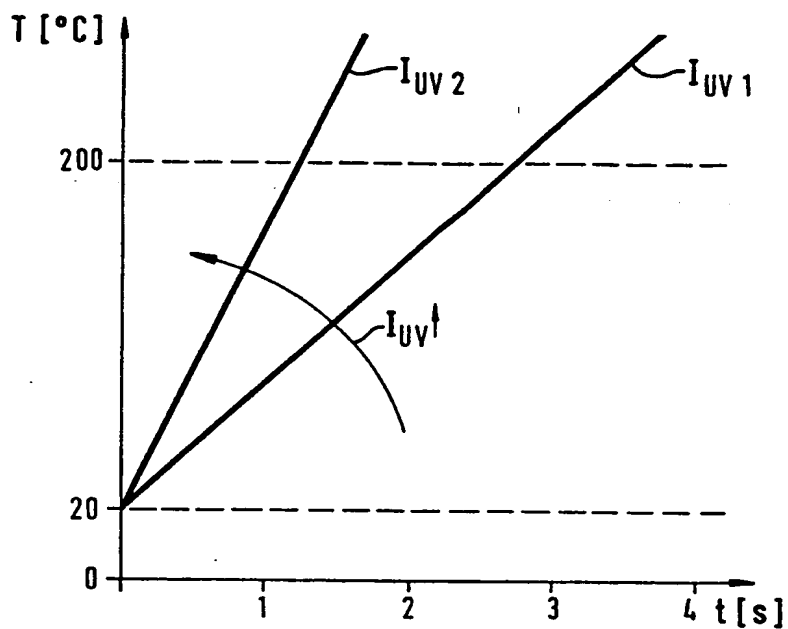


Fig. 4

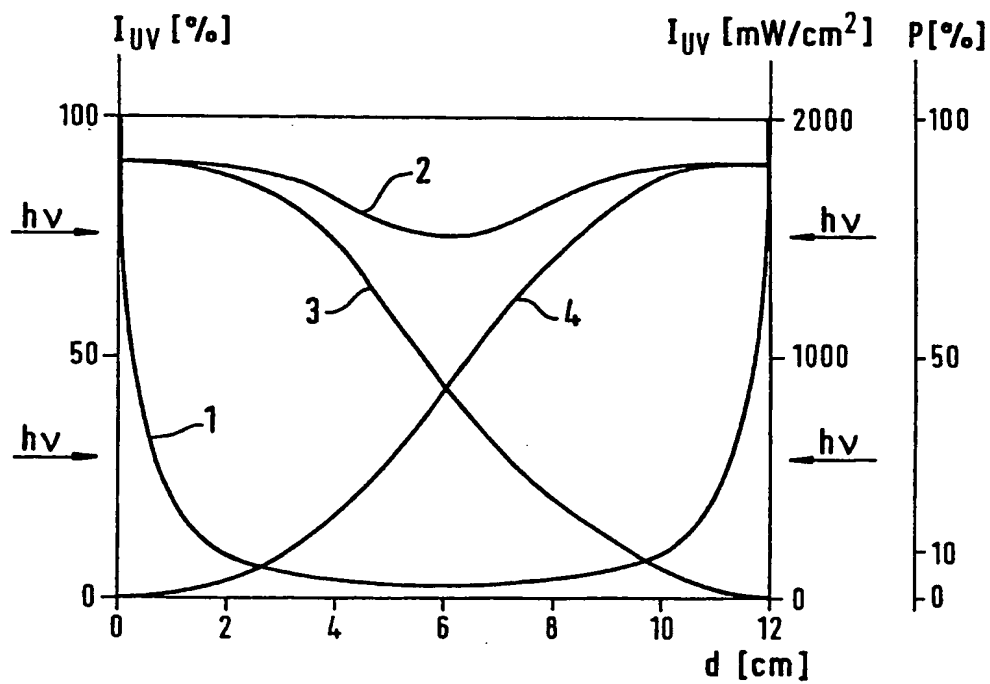


Fig. 5

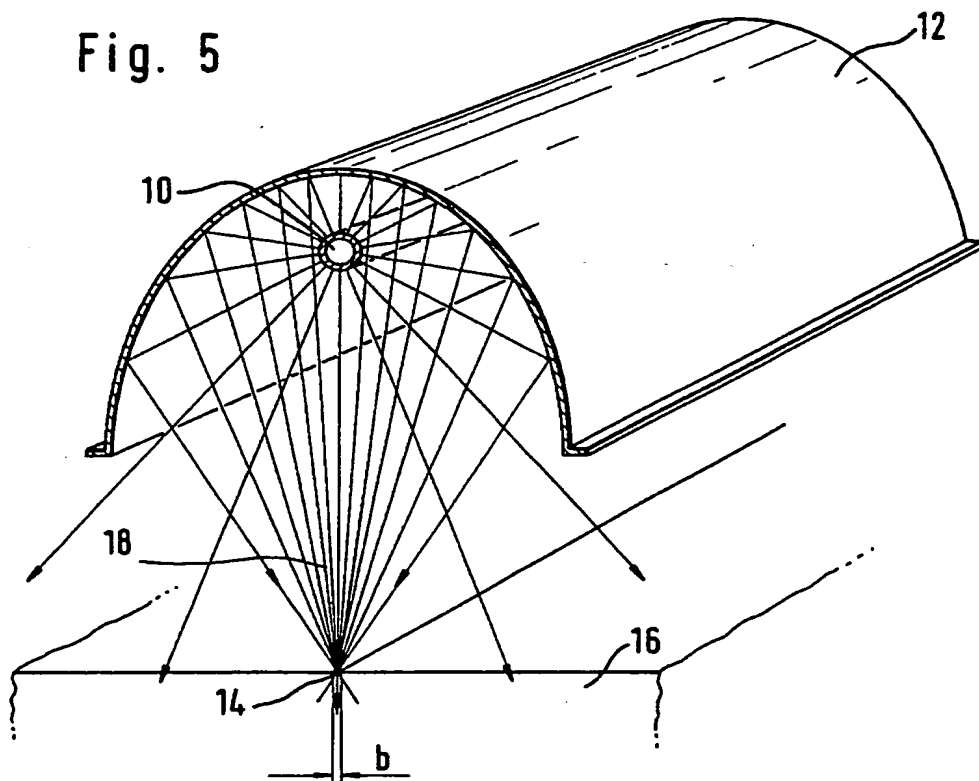


Fig. 6

